

## Sifat Mekanik Komposit *Sandwich* Berpenguat Serat Bambu- *Fiberglass* dengan Core *Polyurethane Rigid Foam*

Agus Dwi Catur, Paryanto D.S., Sinarep, Nanang Prayitno  
Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jl. Majapahit 62 Mataram 83000  
E-mail : agus\_dc1@yahoo.co.id

### **Abstract**

*Strong and rigid material is needed to restrain the bending load. Sandwich construction is applied when the stiff light material is needed. Fiberglass is a high strength fibers, while the bamboo fiber is a strong natural fiber. Both of these fiber reinforce composite resin. Compressive strength, bending strength and specific gravity of sandwich composites were discussed in this paper. Composite sandwich with fiberglass-bamboo fiber reinforcement and with a polyurethane rigid foam core sheet 25 mm have been manufactured and tested. Composite sandwich made by two laminated skin and a core. The number of layers fiber and type of composite sandwich were varied in this study. There was no striking difference in the value of compressive strength of sandwich composite with variations of amount reinforcement layers of the skin. The compressive strength on edge area showed that the number and the type of layer on the skin will determine compressive strength. The compressive strength on the edge area will increase by increasing the number of layers. Bamboo lamina gives a better compressive strength than the fiberglass lamina. Sandwich composite density was lower than the average density of wood, it was ranged from 97.1 to 392.1 kg/m<sup>3</sup>. The bending test was conducted by using four-point bending to determine the bending strength. The highest bending strength of the composite was obtained at 798 N/cm<sup>2</sup>. This value is owned by composite variants with skin consists of two layers of woven bamboo combined with 1 layer of fiberglass.*

**Keywords:** sandwich composite, bamboo, specific gravity, bending, polyurethane.

### **PENDAHULUAN**

Bahan konstruksi seperti untuk perahu dibutuhkan bahan yang ringan setara dengan kayu atau lebih ringan daripada kayu tetapi tetap kuat dan kaku seperti komposit *polyester-fiberglass*. Sifat bahan yang demikian diperoleh pada komposit dengan struktur *sandwich* atau lebih dikenal dengan nama komposit *sandwich*. Konstruksi *sandwich* yang konsisten diterapkan terdiri dari material *core* yang diapit oleh sepasang kulit. Konstruksi ini diterapkan ketika diharapkan kekakuan bending yang memadai dengan berat yang relatif ringan [1].

Prinsip struktur *sandwich* adalah menggabungkan kulit komposit dengan modulus elastisitas tinggi dengan *core* komposit yang ringan sehingga diperoleh kombinasi bahan yang kaku, kuat tetapi ringan. Komposit *polyester-fiberglass* yang tipis dapat digunakan sebagai kulit

komposit *sandwich*. Namun demikian *fiberglass* yang merupakan serat sintesis mempunyai kelemahan, selain berat jenisnya lebih tinggi juga tidak baik untuk kesehatan. *Fiberglass* yang terlepas dan terhirup dapat menyebabkan iritasi di hidung, tenggorokan, kesulitan bernapas, batuk, dan suara serak. *Fiberglass* juga dapat menyebabkan iritasi kulit dan mata [2].

Bambu merupakan salah satu alternatif yang cocok untuk mengurangi atau bahkan menggantikan serat buatan seperti *fiberglass* dan banyak tersedia di Indonesia. Strip bambu dapat didesain menjadi bentuk yang mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dengan membuat menjadi kompositnya. Dengan merekatkan strip-strip bambu menjadi bentuk komposit ini diharapkan mampu memberikan kekuatan yang tinggi dan mempunyai kenampakan yang menarik, sehingga dapat menggantikan

peran komposit *polyester-fiberglass* untuk kulit komposit *sandwich* [3,4,5].

Permasalahan yang timbul adalah bagaimanakah sifat komposit *sandwich* berpenguat serat bambu-*fiberglass* dengan *core polyurethane rigid foam*. Dengan memvariasikan jumlah lapisan serat penguat bambu pada komposit *sandwich* telah diteliti bagaimana sifat bending, tekan, berat jenis komposit *sandwich* yang dibuat.

**METODE PENELITIAN**

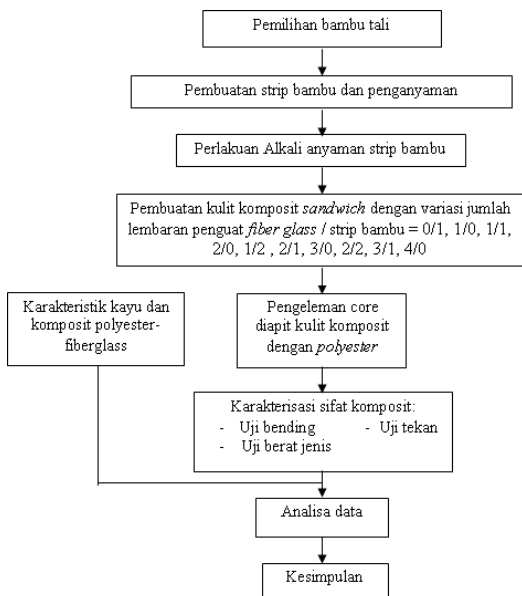
Komposit *sandwich* dibuat dengan metode *hand lay up*. Diagram alir penelitian dapat dilihat di gambar 1. Penelitian diawali dengan pemilihan bambu sebagai sumber serat. Jenis bambu yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah bambu apus atau dikenal sebagai bambu tali. Pemilihan bambu akan sangat menentukan hasil dari pengujian yang akan dilakukan. Untuk memperoleh hasil pengujian yang baik maka harus digunakan bambu-bambu dalam kondisi atau kualitas baik yaitu bambu yang sudah tua dan kering. Bagian bambu yang diambil adalah bagian tengahnya yaitu 50 cm dari pangkal sampai dengan bagian tengah dengan ukuran 4-5 m dari potongan tersebut. Selanjutnya bambu-bambu tersebut dibuat menjadi strip-strip bambu.

Batang bambu yang telah kering dipotong sepanjang ruas 1 m. Potongan tersebut dibelah menjadi beberapa bagian, kulit luar dan kulit dalam dikupas dan dibuang. Bagian tengah bambu *diirat* menjadi strip, proses mengirat bambu dilakukan harus dengan hati-hati sehingga strip yang diperoleh mempunyai ketebalan yang seragam yaitu 1 mm dan lebar 10 mm. Strip bambu kemudian dianyam tegak lurus. Anyaman bambu kemudian diperlakukan alkali, tujuannya adalah agar strip bambu dapat menyatu dengan resin.

Anyaman bambu direndam dalam larutan 4% NaOH selama 2 jam didalam wadah terbuat dari plastik untuk menghilangkan lapisan lilin serat-serat bambu. Anyaman bambu kemudian dicuci dalam air mengalir untuk menghilangkan NaOH yang masih membasahi serat-serat bambu. Pengeringan dilakukan dengan menjemur anyaman bambu di terik matahari gambar atau dikeringkan pada udara panas di dalam oven pada 70°C selama 3 jam.

Pembuatan komposit *sandwich* terdiri dari pembuatan komposit laminat dilanjutkan dengan pengeleman core yang diapit oleh komposit laminat dengan *polyester*. Pada pembuatan komposit laminat dengan teknik *hand lay up*. Pembuatan laminat diawali dengan mengoleskan *mold release* ke permukaan cetakan agar mudah dalam mengambil hasil cetakan. Satu anyaman serat ditata di dalam cetakan kemudian dioleskan *hardened polyester*, lapisan serat berikutnya ditata diatas lapisan yang kedua dan kemudian dioleskan *hardened polyester*. Demikian juga pada lapisan selanjutnya sampai jumlah lapisan sesuai dengan yang direncanakan. Fraksi volume penguat bambu pada lapisannya 21%, sedangkan fraksi volume fiberglass pada lapisannya 15 %. Pencetakan selesai setelah 10 jam *curing* agar lapisan dapat merata sempurna dan mengering dengan baik, kemudian komposit yang telah mengering dikeluarkan dari cetakan.

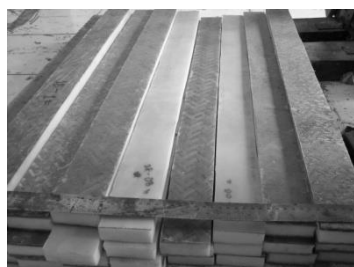
Pembuatan kulit komposit *sandwich* (komposit laminat) dilakukan dengan 10 variasi jumlah lembaran penguat *fiber glass* / strip bambu = 0/1, 1/0, 1/1, 2/0, 1/2 , 2/1, 3/0, 2/2, 3/1, 4/0. Core diperoleh dengan memotong polyurethane rigid foam sheet



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

dengan ukuran sesuai dengan ukuran specimen. Langkah selanjutnya adalah merekatkan *core* berupa *polyurethane rigid foam* tebal 2,5 mm ke komposit laminat dengan *polyester*. Kedua laminat direkatkan mengapit *core* kemudian dibiarkan perekat mengering (*curing*) di ruangan selama 12 jam. Komposit *sandwich* telah jadi dan siap dilakukan pemotongan dengan menggunakan gerinda kecepatan tinggi untuk dibuat menjadi specimen (gambar 2).

Komposit *sandwich* yang telah dibuat dengan semua variasinya diuji. Karakterisasi sifat fisik komposit *sandwich* didasarkan pada ASTM D792-91 untuk mengukur berat jenis komposit. Spesimen komposit *sandwich* ditimbang dengan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram. Berat jenis komposit adalah berat komposit dibagi dengan volume komposit.



**Gambar 2.** Foto spesimen: a. spesimen tekan dan berat jenis b. specimen bending

Prosedur ASTM C 393-00 digunakan untuk menguji kekuatan bending komposit. Pada pengujian bending diketahui sejauh mana mampu bending komposit tersebut mampu menahan beban hingga komposit tersebut patah atau beban lengkung menurun. Spesimen bending ditempatkan pada penopang *universal testing machine* dan diuji secara bending empat titik dengan kecepatan simpangan 5 mm/menit.

Kekuatan tekan diuji pada arah tegak lurus permukaan komposit (arah *flat*) dan arah sejajar permukaan (arah *edge*). Pembebanan dilakukan dengan kecepatan simpangan 5 mm/menit dengan *univesal testing machine*. Standar uji tekan yang dipakai adalah ASTM C365. Ukuran uji spesimen tekan adalah panjang 65 mm lebar 65 mm tebal sesuai ketebalan komposit.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Berat Jenis Komposit

Karakterisasi sifat fisik komposit *sandwich* yang diuji adalah berat jenis. Komposit *sandwich* dipotong kemudian ditimbang dengan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram. Berat komposit *sandwich* dibagi volumenya merupakan berat jenis komposit *sandwich*. Data hasil pengujian berat jenis komposit *sandwich* rata-rata dapat dilihat pada tabel 1. Selain berat jenis komposit *sandwich*, dilakukan juga pengujian berat jenis dari komponen penyusun komposit *sandwich*. Dari hasil pengujian berat jenis komponen penyusun komposit *sandwich* diperoleh berat jenis bambu 0,828 gr/cm<sup>3</sup>, berat jenis *fiberglass* 2,632 gr/cm<sup>3</sup>, berat jenis *polyurethane rigid foam* 0,0427 gr/cm<sup>3</sup>, berat jenis resin *polyester* 1,164 gr/cm<sup>3</sup>.

Hasil pengujian berat jenis komponen penyusun komposit *sandwich* menunjukkan bahwa bambu mempunyai berat jenis yang jauh lebih rendah (0,828 gr/cc) dari pada berat jenis *fiberglass* (2,632 gr/cc) sehingga bambu sangat potensial digunakan sebagai pengganti *fiberglass* dalam komposit *sandwich*. Hal sebaliknya terjadi pada hasil pengujian berat jenis komposit *sandwich*. Hasil pengujian berat jenis komposit *sandwich* menunjukkan bahwa komposit *sandwich* dengan *skin* dari bambu mempunyai berat jenis yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit *sandwich* dengan *skin* dari *fiberglass*. Hal ini disebabkan karena *skin* bambu lebih tebal dibandingkan dengan *skin fiberglass* sehingga resin *polyester* yang digunakan lebih banyak. Resin *polyester* berada di sela anyaman strip bambu, ketebalan strip bambu menyebabkan ruangan sela anyaman juga besar. Peningkatan berat jenis *skin* bambu banyak disumbangkan oleh berat jenis resin *polyester* yang tinggi.

Dari hasil pengujian berat jenis diperoleh bahwa berat jenis komposit *sandwich* berkisar antara 0,0971 – 0,3921 gr/cc atau 97,1 – 392,1 kg/m<sup>3</sup>, sehingga semua varian komposit *sandwich* yang digunakan dalam pengujian mempunyai berat jenis lebih rendah dibandingkan dengan berat jenis rata-rata kayu yaitu 0,6 gr/cc.

**Tabel 1.** Berat jenis komposit *sandwich*.

Spesimen	Berat Jenis rata-rata ( gr/cm <sup>3</sup> )
1F - 0B	0,0971
0F - 1B	0,2501
2F - 0B	0,1377
1F - 1B	0,2783
3F - 0B	0,1687
2F - 1B	0,3035
1F - 2B	0,4129
4F - 0B	0,2227
3F - 1B	0,3438
2F - 2B	0,3921

Keterangan:

F : fiber glass

B : Anyaman bambu

Angka di depan huruf menunjukkan jumlah lapisannya di kulit komposit

#### **Kekuatan Tekan Komposit Sandwich**

Kekuatan tekan komposit diuji dengan *universal testing machine* yang dilengkapi dengan aktuator tekan. Kecepatan pembebanan regangan 0,5 mm/menit dengan *universal testing machine*. Standar uji tekan yang dipakai adalah ASTM C365/C 365M-05. Arah pembebanan adalah tegak lurus permukaan kulit komposit (tekan *flat*). Kekuatan tekan komposit *sandwich* arah *flat* rata-rata adalah 47,3 N/Cm<sup>2</sup>. Kekuatan tekan komposit hanyalah ditentukan oleh gaya maksimal yang dapat ditahan oleh *polyurethane rigid foam* saat aktuator ditekankan dipermukaan kulit komposit. Gaya

tekan dari aktuator diteruskan ke *polyurethane rigid foam* oleh lapisan kulit komposit. Kekuatan tekan komposit sangat tergantung pada kekuatan tekan *polyurethane rigid foam*, semakin kuat *styrofoamcore* menahan beban tekan maka semakin tinggi kekuatan tekan komposit.

Kegagalan tekan komposit *sandwich* arah *flat* terjadi pada *polyurethane rigid foam*, karena bagian inilah yang paling lemah terhadap gaya tekan daripada kedua kulit yang mengapitnya. Pada proses pengujian, spesimen akan terus di kenai beban sampai spesimen tersebut menjadi rusak karena tidak mampu menahan beban yang di berikan, ini di tandai dengan menyusutnya volume komposit akibat pembebanan tersebut. Terjadi pemampatan pada *polyurethane rigid foam*, bagian ini mengalami deformasi plastis yang tetap. Hasil pengujian tekan arah *flat* yang telah dilakukan di dapatkan kekuatan tekan cenderung sama untuk bermacam variasi kulit komposit.

Adapun kekuatan tekan komposit *sandwich* arah *edge* diperlihatkan pada tabel 5.2. Kekuatan tekan terbesar dimiliki oleh komposit *sandwich* dengan kulit terdiri dari 2 lapis fiberglass dan dua lapis anyaman bambu yaitu sebesar 972,59 N/Cm<sup>2</sup>. Anyaman bambu yang berjumlah dua lapis di kedua kulit komposit membuat kulit menjadi tebal dan membuat komposit mampu menahan beban tekan yang lebih tinggi. Urutan kedua juga dimiliki oleh komposit dengan kulit yang terdiri dari dua lapis anyaman bambu dan dengan satu lapis anyaman fiber glass. Kemampuan komposit dengan kulit fiberglass menahan gaya tekan sangatlah kecil ini dapat dilihat di tabel 2, bahwa kekuatan tekan komposit terkecil dimiliki oleh komposit dengan kulit satu lapis fiberglass yaitu sebesar 57,2 N/Cm<sup>2</sup>.

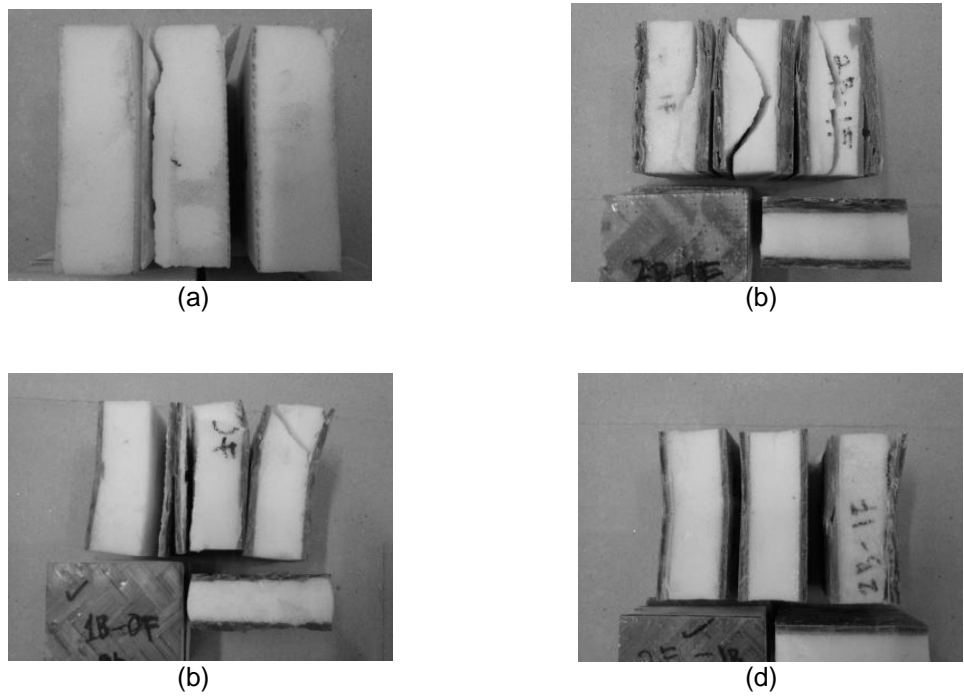
Nilai kekuatan tekan komposit arah *edge* berkisar antara 57,2 sampai dengan 972,9 N/Cm<sup>2</sup>. Saat penekan mengenai komposit arah *edge*, beban tekan ditahan oleh *core* dan dua *skin* yang mengapitnya. Kedua material ini mengalami *displacement* yang sama tetapi karena *skin* terbuat dari bahan yang lebih kuat maka beban lebih besar ditahan oleh *skin*. Penekan terus mendesak komposit arah *edge* dan akhirnya komposit mengalami kegagalan.

**Tabel 2.** Kekuatan tekan komposit arah *edge*

Jenis kulit	Kekuatan tekan <i>edge</i> komposit (N/cm <sup>2</sup> )
1F – 0B	57.234
0F – 1B	140.37
2F – 0B	68.376
1F – 1B	353.03
3F – 0B	96.759
2F – 1B	277.46
1F – 2B	819.54
4F – 0B	94.268
3F – 1B	460.01
2F – 2B	972.59

ujung *skin*. Pada gambar 3b menunjukkan kegagalan kompresi dan geser pada *core* dan melengkung *bukling* pada *skin*. Pada gambar 3c menunjukkan kegagalan delaminasi dan geser pada *core* dan pada *skin* melengkung *bukling*. Sedangkan gambar 3d menunjukkan kegagalan *bukling* pada komposit tanpa terjadi delaminasi pada *core*.

Jenis kegagalan yang terjadi bervariasi, gambar 3 menunjukkan kegagalan belah memanjang pada *core* dan kerusakan pada



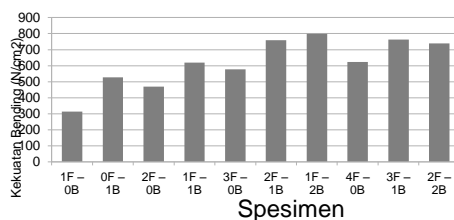
**Gambar 3.** Gambar model kegagalan uji tekan searah dengan *edge*.

**Kekuatan Bending Komposit Sandwich**  
 Pengujian *bending* dilakukan dengan metode *bending* empat titik untuk mengetahui

kekuatan *bending*. Prosedur ASTM C 393-00 digunakan untuk menguji kekuatan *bending* komposit. Kekuatan *bending* dihitung sejauh mana mampu *bending* komposit tersebut

mampu menahan beban hingga komposit tersebut patah atau beban lengkung menurun. Spesimen ditempatkan pada penopang *universal testing machine* dan diuji secara *bending* empat titik dengan kecepatan simpangan 5 mm/menit. Hasil uji kekuatan bending komposit ditunjukkan pada Gambar grafik 4.

Dari Gambar grafik 4 dapat dilihat kecenderungan kenaikan kekuatan bending komposit ketika kulit komposit bertambah lapisannya, ini terjadi baik pada lapisan fiber glass saja maupun perpaduan lapisan fiberglass dengan lapisan bambu. Kekuatan bending terbesar dimiliki komposit *sandwich* dengan lapisan kulit yang terdiri dari 1 lapis fiber dan 2 lapis anyaman bambu yaitu sebesar 798 N/cm<sup>2</sup>. Kemudian menyusul komposit *sandwich* dengan kulit komposit yang terdiri dari 3 lapisan fiberglass dengan 1 lapisan anyaman bambu yaitu sebesar 762 N/cm<sup>2</sup>. Sedangkan kekuatan bending komposit terendah dimiliki oleh komposit *sandwich* dengan kulit terdiri dari satu lapisan fiber saja yaitu sebesar 314 N/cm<sup>2</sup>.



**Gambar 4.** Grafik kekuatan bending komposit *sandwich* terhadap variasi lapisan kulitnya

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisa yang sudah dilakukan dapat ditarik kesimpulan yaitu serat bambu sangat potensial digunakan sebagai komponen penyusun komposit *sandwich* sebagai pengganti *fiberglass*.

Kekuatan tekan komposit *sandwich* arah *flat* rata-rata 47,3 N/Cm<sup>2</sup>, tidak terjadi perbedaan pada nilai kekuatan tekan komposit *sandwich* tersebut dengan adanya variasi jumlah lapis penguat pada kulit. Kekuatan tekan komposit arah *flat* hanya ditentukan oleh gaya maksimal yang dapat ditahan oleh *polyurethane rigid foam* sebagai

*core* saat aktuator ditekankan dipermukaan kulit komposit.

Kekuatan tekan arah *edge* menunjukkan bahwa jumlah dan jenis lapisan pada kulit sangat menentukan kekuatan tekannya, semakin banyak lapisan maka kekuatan tekannya semakin besar. Jenis pelapis kulit bambu memberikan kekuatan tekan yang lebih baik daripada pelapis fiberglass. Kekuatan tekan terbesar dimiliki oleh komposit *sandwich* dengan kulit terdiri dari 2 lapis anyaman bambu – 2 lapis fiberglass yaitu sebesar 972,6 N/cm<sup>2</sup>. Kekuatan tekan terkecil dimiliki oleh komposit *sandwich* dengan kulit terdiri dari 1 lapis fiberglass yaitu sebesar 57,2 N/cm<sup>2</sup>.

Berat jenis komposit *sandwich* berkisar antara 97,1 – 392,1 kg/m<sup>3</sup>, sehingga semua varian komposit *sandwich* yang digunakan dalam pengujian mempunyai berat jenis lebih rendah dibandingkan dengan berat jenis rata-rata kayu yaitu sekitar 0,6 gr/cc.

Kekuatan bending komposit tertinggi 798 N/cm<sup>2</sup> diperoleh pada varian komposit dengan skin terdiri dari 2 lapisan anyaman bambu dipadu dengan 1 lapisan fiberglass. Berat jenis komposit *sandwich* yang diperoleh dari uji berat jenis dapat untuk menentukan kekuatan bending spesifik komposit.

Perlu dilanjutkan penelitian tentang komposit *sandwich* berpenguat serat bambu – *fiberglass* dengan *core polyurethane rigid foam* pada sifat impact maupun bending after impact agar bisa disimpulkan penggunaannya untuk konstruksi yang bergerak seperti perahu.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Matthew D. Erickson, Alan R. Kallmeyer and Kenneth G. Kellogg, 2005, "Effect of Temperature on the Low-velocity Impact Behavior of Composite Sandwich Panels", *Journal of Sandwich Structures and Materials.*, Vol. 7, 245.
- [2] Labor, 2005, Fibrous Glass, United States Department of Occupational Safety & Health Administration, Chemical Sampling Information, CAS Registry Number: 65997-17-3.
- [3] Bansal, Arun K. Zoolagud, S.S., 2002, "Bamboo composites: Material of the

- future”, *Journal of Bamboo and Rattan.*, Vol. 1, No. 2, 119-130.
- [4] Thwe, 2002, “Effects of environmental aging on the mechanical properties of bamboo–glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites”, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing.*, Vol. 33, No. 1, 43–52.
- [5] Jain S., Kumar R., Jindal U.P., 1992, “Mechanical behaviour of bamboo and bamboo composites”, *Journal of Material Science.*, Vol. 27, No.17, 4598-4604.